

STEEL WIRE ROD EXCELLENT IN FATIGUE CHARACTERISTIC AND WIRE DRAWABILITY AND ITS PRODUCTION

Publication number: JP2000178685

Publication date: 2000-06-27

Inventor: HIWATARI JUNICHI; HAMADA TAKANARI

Applicant: SUMITOMO METAL IND

Classification:

- **international:** C22C38/00; C22C38/54; C22C38/00; C22C38/54;
(IPC1-7): C22C38/00; C22C38/54

- **European:**

Application number: JP19980356428 19981215

Priority number(s): JP19980356428 19981215

[Report a data error here](#)

Abstract of JP2000178685

PROBLEM TO BE SOLVED: To suitably use the wire rod for wire ropes, valve springs, PC steel wires, steel codes or the like by allowing oxide inclusions in the longitudinal section in the longitudinal direction to have a specified amt. of SiO₂ and also controlling the density index of oxide inclusions detected in a specified area including all the regions of the cross-sectional width to the value equal to or below the specified one. **SOLUTION:** In the longitudinal section in the longitudinal direction of a wire rod, oxide inclusions of $\geq 2 \mu\text{m}$ width contain SiO₂ of $\geq 70 \text{ wt.}\%$ by the average compsn. Then, the density index fn1 expressed by the formula of oxide inclusions detected in the area with 55 mm² including all the regions in the cross-sectional width as the unit is controlled to ≥ 50 . In the formula, Ki denotes the coefficient in accordance with the class of the oxide inclusions, Nij denotes the number of the oxide inclusions having a class in accordance with each Ki as to the sample of the (j)th, (i) denotes the class number of the oxide inclusions and the numbers of 1 to 7, and (j) denotes the sample number and the numbers of 1 to (n). The oxide inclusions preferably contain ZrO₂ of 0.1 to 10% by the average compsn. together with SiO₂.

$$f n 1 = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^7 (K_i \times N_{ij}) \text{ / サンプル数}$$

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

【物件名】

刊行物 3

刊
行
物
3

【添付書類】

11  168

(10) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-178685

(P2000-178685A)

(43) 公開日 平成12年6月27日 (2000.6.27)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	FI	ナコード(参考)
C22C 38/00 38/54	301	C22C 38/00 38/54	301Y

審査請求 未請求 請求項の数 4 OL (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平10-356428

(22) 出願日 平成10年12月15日 (1998.12.15)

(71) 出願人 000002318

住友金属工業株式会社
大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

(72) 発明者 橋本 洋一

福岡県北九州市小倉北区許聖町1番地住友
金属工業株式会社小倉製鉄所内

(72) 発明者 浜田 貴成

福岡県北九州市小倉北区許聖町1番地住友
金属工業株式会社小倉製鉄所内

(74) 代理人 100103481

弁理士 森 道雄 (外1名)

(54) 【発明の名称】 疲労特性及び伸線加工性に優れた鋼線材とその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 ワイヤロープ、弁ばね、懸架ばね、PC鋼線、スチールコードなどの用途に適した疲労特性及び伸線加工性に優れた鋼線材とその製造方法の提供。

【解決手段】 鋼線材の長手方向横断面において、幅2 mm以上の酸化物系介在物の主成分の平均組成が、重量%で70%以上のSiO₂を含み、且つ、前記長手方向横断面極全域を含む55 mm²を単位とする面積中に検出される酸化物系介在物の密度係数が50以下である疲労特性及び伸線加工性に優れた鋼線材。

(2)

特開2000-178885

【特許請求の範囲】

【請求項1】鋼鉄材の長手方向縦断面において、幅2 μ m以上の酸化物系介在物が平均組成で、重量%で70%以上のSi、O₂を含み、且つ、前記長手方向縦断面幅全域を含む55mm²を単位とする面積中に検出される酸化物系介在物の前記①式で表される密度指数n1が50以下である疲労特性及び伸張加工性に優れた鋼鉄材。

域を含む55mm²を単位とする面積中に検出される酸化物系介在物の前記①式で表される密度指数n1が50以下である疲労特性及び伸張加工性に優れた鋼鉄材。
【数1】

$$n1 = \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^n (K_i \times N_{ij}) / \text{サンプル数} \dots\dots ①$$

ここで、K_i：下記表に示す酸化物系介在物の階級（幅）に応じた係数、

N_{ij}：j番目のサンプルに関して各K_iに対応する階級（幅）

を有する酸化物系介在物の階級、

i：酸化物系介在物の階級番号（i=1～7）、

j：サンプル番号（j=1～n）

である。

酸化物系介在物		係数 K _i
階級	幅（ μ m）	
1	2.0未満	0
2	2.0以上5.0未満	1
3	5.0以上7.5未満	2
4	7.5以上10.0未満	5
5	10.0以上15.0未満	10
6	15.0以上20.0未満	20
7	20.0以上	50

【請求項2】鋼鉄材の長手方向縦断面において、幅2 μ m以上の酸化物系介在物が平均組成で、重量%で70%以上のSi、O₂、0.1～10%のZr、O₂を含み、且つ、前記長手方向縦断面幅全域を含む55mm²を単位とする面積中に検出される酸化物系介在物の前記①式で表される密度指数n1が50以下である疲労特性及び伸張加工性に優れた鋼鉄材。

【請求項3】鋼の化学組成が重量%で、C：0.45～1.1%、Si：0.1～2.5%、Mn：0.1～1.0%を含み、更に、Zr：0～0.1%、Cu：0～0.5%、Ni：0～1.5%、Cr：0～1.5%、Mo：0～0.5%、W：0～0.5%、Co：0～2.0%、B：0～0.0030%、V：0～0.5%、Nb：0～0.1%、Ti：0～0.1%を含有し、残部はFe及び不可避不純物からなり、不純物中のPは0.020%以下、Sは0.020%以下、Alは0.005%以下、Nは0.005%以下、O（融鋼）は0.0025%以下である請求項1又は2に記載の疲労特性及び伸張加工性に優れた鋼鉄材。

【請求項4】転圧による一次精練、二次精練、連続鋳造プロセスで製造する請求項1～3のいずれかに記載の疲労特性及び伸張加工性に優れた鋼鉄材の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、疲労特性及び伸張

加工性に優れた鋼鉄材とその製造方法に関し、詳しくは例えば、ワイヤロープ、弁ばね、懸架ばね、PC鋼線、スチールコードなどの用途に好適な疲労特性及び伸張加工性に優れた鋼鉄材とその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】ワイヤロープ、弁ばね、懸架ばね、PC鋼線などに用いられる鋼鉄材（以下、「鋼鉄材」を単に「線材」という）には、熱間圧延伸張加工などの冷間加工、更に、焼入れ焼戻しの調質処理、あるいはブルーイング処理が施される。又、自動車のラジアルタイヤの補強材として用いられるスチールコード用の線材は、外径（直径）約5.5mmまで熱間圧延された後調整冷却され、1次伸張加工、パテンティング処理、2次伸張加工、最終パテンティング処理を受け、更にその後でブラスモッキ処理、続いて最終調整伸張加工を受ける。このようにして得られた鋼線鋼線を更に捻り加工（捻線加工）して複数本捻り合わせ、スチールコードが成形されている。

【0003】したがって、上記技術分野に属する線材には、優れた伸張加工性と同時に優れた疲労特性が要求される。

【0004】近年、コスト合理化や地球環境問題などを背景に前記したワイヤロープ、弁ばね、懸架ばね、PC鋼線やスチールコードなど各種製品の軽量化に対する要

(3)

特開2000-178685

量がますます高まっており、高強度化への取り組みが活発に行われている。しかし、一般に鋼材は強度が高くなるほど伸線加工性が劣化し、疲労破壊に対する感受性が大きくなるので、前記した各種製品の素材用鋼材としては、特にその内部性状の優れたものが要求されるようになっていく。

【0005】このため、伸線加工性あるいは疲労特性を高める目的で、鋼の清浄性に着目した技術が開示されている。

【0006】例えば、第126回・第127回西山記念技術懇話会の第148～150ページには、介在物を熱間圧延時に塑性変形しやすい三元系の低融点組成領域に制御することで、延性介在物として無害化を図る技術が開示されている。

【0007】特開昭62-99436号公報には、介在物の長さ(1)と幅(d)の比が $1/d \leq 5$ の延性の小さいものに限定し、介在物の平均的組成をSi:O₂:20～60%、Mn:O:10～80%で、更に、C_s:O:50%以下、Mg:O:15%以下の一方又は両方を含むように制御した技術が開示されている。

【0008】特開昭62-99437号公報には、介在物の長さ(1)と幅(d)の比が $1/d \leq 5$ の延性の小さいものに限定し、介在物の平均的組成をSi:O₂:25～75%、Al₂O₃:30%以下、C_s:O:50%以下、Mg:O:25%以下に制御した技術が開示されている。

【0009】上記2つの公報に開示された技術は、基本的に介在物の低融点化を図るという技術思想において前記の西山記念で報告された内容と同一であるが、介在物の組成制御を行うにあたり、Mn:OやMg:Oを含めた多元系で低融点化を図り、熱間圧延で十分延伸させ、冷間圧延あるいは伸線で破砕させて微細に分散させることにより冷間加工性及び疲労特性の向上を図ろうとするものである。

【0010】しかしながら、介在物は界面エネルギーが

微小である。このため、介在物はガスバブリングやアーク式加熱方式を有するとりべ精錬などの二次精錬時から鍛造時において蓄積肥大化しやすく、鱗片段階で巨大介在物として残存する傾向がある。いったん巨大介在物が生じると、仮に介在物としての平均組成は同じであっても、図1に示すように同一介在物内の凝固過程において不均一析出する程度が高くなる可能性がある。したがって、上記各公報で提案された介在物組成、つまり介在物の平均組成に制御した場合であっても、巨大で不均一組成の介在物が晶出すると、その巨大介在物のうちで公報で提案された組成内の領域は軟質なため熱間圧延及び冷間圧延や伸線で小型化するが、公報で提案された組成から外れる領域は大型のまま残存してしまうことがあって、伸線加工性及び疲労特性を向上させるには限界があった。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記現状に鑑みなされたもので、その目的は、ワイヤロープ、弁ばね、懸架ばね、PC鋼線、スチールコードなどの用途に好適な疲労特性及び伸線加工性に優れた鋼材とその製造方法を提供することである。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明の要旨は、下記(1)～(3)に示す疲労特性及び伸線加工性に優れた鋼材、及び(4)に示す鋼材の製造方法にある。

【0013】(1)鋼材の長手方向縦断面において、幅2μm以上の酸化物系介在物が平均組成で、重量%で70%以上のSi:O₂を含み、且つ、前記長手方向縦断面幅全域を含む55mm²を単位とする面積中に検出される酸化物系介在物の下記式で表される密度指数f n 1が50以下である疲労特性及び伸線加工性に優れた鋼材。

【0014】

【数1】

(4)

特開2000-178685

$$f(n) = \frac{\sum_{i=1}^n (K_i \times N_i)}{\sum_{i=1}^n N_i} \quad \text{--- ④}$$

ここで、 K_i : 下記表に示す酸化物系介在物の階級（幅）に応じた係数、

N_i : i 番目のサンプルに対して各 K_i に対応する階級（幅）

を有する酸化物系介在物の個数、

i : 酸化物系介在物の階級番号 ($i = 1 \sim 7$)、

j : サンプル番号 ($j = 1 \sim n$)

である。

酸化物系介在物		係数
階級	幅 (μm)	K_i
1	2.0未満	0
2	2.0以上5.0未満	1
3	5.0以上7.5未満	2
4	7.5以上10.0未満	5
5	10.0以上15.0未満	10
6	15.0以上20.0未満	20
7	20.0以上	50

【0015】(2) 鋼材の長手方向縦断面において、幅 $2\mu\text{m}$ 以上の酸化物系介在物が平均組成で、重量%で70%以上の SiO_2 、0.1~10%の ZrO_2 を含み、且つ、前記長手方向縦断面幅全域を含む 55mm^2 を単位とする面積中に検出される酸化物系介在物の前記④式で表される相対濃度 $f(n)$ が50以下である疲労特性及び伸線加工性に優れた鋼材。

【0016】(3) 鋼の化学組成が重量%で、C: 0.45~1.1%、Si: 0.1~2.5%、Mn: 0.1~1.0%を含み、更に、Zr: 0~0.1%、Cu: 0~0.5%、Nb: 0~1.5%、Cr: 0~1.5%、Mo: 0~0.5%、W: 0~0.5%、Co: 0~2.0%、B: 0~0.0030%、V: 0~0.5%、Nb: 0~0.1%、Ti: 0~0.1%を含む、残部はFe及び不可避不純物からなり、不純物中のPは0.020%以下、Sは0.020%以下、Alは0.005%以下、Nは0.005%以下、O(融液)は0.0025%以下である上記(1)又は(2)に記載の疲労特性及び伸線加工性に優れた鋼材。

【0017】(4) 鋼材による一次焼鈍、二次焼鈍、連続焼鈍プロセスで製造する上記(1)~(3)のいずれかに記載の疲労特性及び伸線加工性に優れた鋼材の製造方法。

【0018】なお、本発明でいう鋼材の「長手方向縦断面」(以下「L断面」という)とは、鋼材の圧延方向に平行に、その中心線を通って切断した面をいう。又、介在物の「幅」とは、L断面における幅方向の最大長さのことを指す。介在物形態が粒形であった場合も、同一定義とする。

【0019】「鋼材」とは、棒状に熱間圧延された鋼で、コイル状に巻かれた鋼材を指し、所謂「バーインコイル」を含むものである。

【0020】「二次焼鈍」とは、ガスバブリングやアーキ式加熱方式を有するとりばね焼鈍法や真空脱ガス装置を使用する焼鈍法を指す。

【0021】以下、上記の(1)~(4)に記載のものをそれぞれ(1)~(4)の発明という。

【0022】

【発明の実施の形態】本発明者らは、疲労特性及び伸線加工性に優れた鋼材を提供することを目的として種々の調査・研究を行った。すなわち、鋼材中の酸化物系介在物の組成、サイズ、分布密度が疲労特性及び伸線加工性に及ぼす影響について調査するために、種々の条件の下に試験炉で焼製し、二次焼鈍して得た鋼塊を熱間鍛造して鋼片にし、次いで、圧延温度及び冷却速度を調整して直径5.5mmの鋼材に熱間圧延した。これらの鋼材に一次伸線加工(仕上がり径(直径)2.5mm)、一次バテンディング処理、二次伸線加工(仕上がり径(直径)1.2mm)を施した後、更に、最終バテンディング処理(950~1050℃のオーステナイト化温度、560~610℃の焼戻温度)を施し、引き続きプラスめっき処理を行ってから伸線速度550m/分の条件下で湿式伸線加工(仕上がり径0.2mm)を行った。

【0023】直径5.5mmの鋼材については、そのL断面を鏡面研磨し、研磨面を被膜面としてEPMA装置で分析して幅が $2\mu\text{m}$ 以上の酸化物系介在物の組成を測定するとともに、L断面幅全域を含む面積 55mm^2 当たりの酸化物系介在物の幅と個数を倍率400倍で光学

(5)

特開2000-178585

顕微鏡観察して測定した。

【0024】直径0.2mmの鋼線については引張強度と疲労強度を測定した。なお、疲労強度は、温度が20～25℃、湿度が50～60%の条件下でハンター式回転曲げ疲労試験機を用いて10⁷サイクル試験して調査した。

【0025】直径1.2mmの鋼線を直径0.2mmの鋼線に屈曲伸張した場合の断線指数(鋼線1トン当たりの断線回数(回/トン))を求めて伸張加工性も調査した。

【0026】その結果、下記の知見が得られた。

【0027】(a) 鋼材のL断面において、幅2μm以上の酸化物系介在物の主成分の平均組成が、重量%で70%以上のSiO₂を含むもので、しかも、前記①式で表される酸化物系介在物の密度指数f_{n1}が50以下である場合には、その鋼材の疲労特性及び伸張加工性は良好である。

【0028】(b) 上記(1)において、幅2μm以上の酸化物系介在物の主成分の平均組成が、更に重量%で0.1～10%のZrO₂を含む場合には、その鋼材の疲労特性及び伸張加工性は極めて良好である。

【0029】図2、図3に前記の調査結果の一例を示す。これらの図は、重量%でのCとMnの含有量が、C(%) + 0.2Mn(%)で0.82～0.88%の鋼を素材鋼とし、L断面における幅2μm以上の酸化物系介在物の主成分の平均組成がすべて重量%で70%以上のSiO₂を含む場合について整理したものである。図2は疲労強度と密度指数f_{n1}との関係を、図3は断線指数と密度指数f_{n1}との関係を示すもので、密度指数f_{n1}が50以下の場合には良好な疲労特性と伸張加工性が得られることが明瞭である。

【0030】本発明は、上記の知見に基づいて完成されたものである。

【0031】以下、本発明の各要件について詳しく説明する。なお、成分(組成)含有量の「%」は「重量%」を意味する。

【0032】(A) 主成分の平均組成を規定する酸化物系介在物の幅

鋼材のL断面における幅2μm未満の酸化物系介在物は疲労特性及び伸張加工性にほとんど影響を及ぼさない。更に、上記した幅2μm未満の介在物は微小であるため、EPM法など物理的な分析方法で組成分析を行うとマトリックス部が含まれてしまう場合があり、精度よく測定を行うことが困難である。したがって、鋼材のL断面における酸化物系介在物のうち主成分の平均組成を規定する介在物の幅を2μm以上とした。

【0033】(B) 鋼材のL断面における幅2μm以上の酸化物系介在物の主成分の平均組成

本発明のうち(1)の発明においては、鋼材のL断面における幅2μm以上の酸化物系介在物の主成分の平均組

成(以下、単に「平均組成」という)として、SiO₂を70%以上含むように規定する。これは、疲労特性や伸張加工性に影響を及ぼす酸化物系介在物を平均組成で前記の量のSiO₂を含むものとしておけば、L断面幅全域を含む面積55mm²当たり前記①式で表される酸化物系介在物の密度指数f_{n1}を50以下に調整することによって、従来提案されている技術のように低酸素化を図らなくとも、他の酸化物系介在物の組成に拘わらず、図2、図3に一例を示したように、良好な疲労特性及び伸張加工性が得られるからである。

【0034】平均組成において、SiO₂が70%未満であると、鋼の断面組織において不均一相が晶出し、たとえ前記したL断面幅全域を含む面積55mm²当たりの密度指数f_{n1}を50以下に調整しても、鋼材のL断面における幅15μm以上の酸化物系介在物によって疲労特性や伸張加工性が劣化する可能性がある。したがって、平均組成におけるSiO₂を70%以上とした。なお、平均組成において、SiO₂が75%を超えることが好ましい。

【0035】本発明において、平均組成で0.1～10%の量のZrO₂を上記の量のSiO₂と混合して存在させると、SiO₂が微細に分散し、L断面幅全域を含む面積55mm²当たりについての前記した密度指数f_{n1}の値が一層小さくなるので、伸張加工性や疲労特性が極めて良好になる。したがって、平均組成で70%以上のSiO₂と0.1～10%のZrO₂を含むようにするのがよい(2)の発明)。平均組成におけるZrO₂は1.0%以上であることが好ましく、1.5%以上であれば一層好ましい。

【0036】なお、酸化物系介在物の組成を精度よく短時間で容易に測定するためには、例えば、鋼材から採取した試験片を断面研磨し、その研磨面を被検面としてEPM法装置で分析すればよい。

【0037】(C) 密度指数f_{n1}

良好な疲労特性と伸張加工性の真価のためには、既に述べた平均組成で70%以上のSiO₂を含むばかりでなく、図2、図3に一例を示したように、L断面幅全域を含む面積55mm²当たりについて、前記①式で表される密度指数f_{n1}の値を50以下にする必要がある。ここで、①式における酸化物系介在物の幅に代じた係数R₁は、従来の経験に基づくものである。例えば、既に述べたとおり、L断面における幅2μm未満の酸化物系介在物は疲労特性及び伸張加工性にほとんど影響を及ぼさない。このため上記サイズの介在物に対する前記係数は0とした。一方、幅15.0μm以上の大きな介在物は疲労特性や伸張加工性に大きな影響を及ぼし、特に、幅20μm以上の介在物は疲労破壊及び伸張加工時における断線の直線の起点となり、疲労特性及び伸張加工性を著しく劣化させる。このため、幅20.0μm以上の大きな介在物に対しては50という大きな係数を付与して

いる。

【0038】なお、例えば、転炉から連続鋳造の工程までに溶鋼中に投入又は混入するAl量を5g/トン以下に調整するとともに、溶鋼と接触する耐火物及びフラックス中のAl₂O₃量を10%以下とし、更に、二次精錬の工程以降で、溶鋼と接触するとりべ中スラグの最終組成CaO/SiO₂比を0.8~2.0の範囲にすることによって、平均組成におけるSiO₂が70%以上で、断面幅全域を含む面積55mm²当たりについて、前記①式で表される密度指数f_{n1}の値を50以下にすることができる。又、例えば、転炉から連続鋳造の工程までに溶鋼中に投入又は混入するAl量を5g/トン以下に調整するとともに、溶鋼と接触する耐火物及びフラックス中のAl₂O₃量を10%以下とし、且つ、転炉から連続鋳造の工程までに溶鋼と接触する耐火物及びフラックスの1種以上に含まれるZrO₂の量を1~80%とし、更に、二次精錬の工程以降で、溶鋼と接触するとりべ中スラグの最終組成CaO/SiO₂比を0.8~2.0の範囲にすることによって、平均組成におけるSiO₂が70%以上、ZrO₂が0.1~10%で、断面幅全域を含む面積55mm²当たりについて、前記①式で表される密度指数f_{n1}の値を50以下にすることができる。なお、Zrを添加する場合には、例えば、転炉出鋼時又は二次精錬時にZrを含む合金鉄を溶鋼に添加すればよい。

【0039】(1)及び(2)の発明に係る疲労特性及び伸縮加工性に優れた素材は、融化物系介在物の主成分の平均組成と量及び前記した密度指数f_{n1}を規定するものであり、その素材の素材となる鋼の具体的な化学組成や鋼の製造方法は特に限定する必要はない。しかし、疲労特性や伸縮加工性は、素材の素材となる鋼の化学組成によっても大きく変化する。このため、(3)の発明においては、素材の素材となる鋼の化学組成を下記のとおり規定する。

【0040】(D) 素材鋼の化学成分

C: 0.45~1.1%

Cは、強度を確保するのに有効な元素である。しかし、その含有量が0.45%未満の場合には、ばねやスチールコードなどの最終製品に高い強度を付与させることが困難である。一方、その含有量が1.1%を超えると熱間圧延後の冷却過程中に初析セメントライトが生成して、伸縮加工性が著しく劣化する。したがって、Cの含有量は0.45~1.1%とするのがよい。

【0041】Si: 0.1~2.5%

Siは、脱酸に有効な元素であり、その含有量が0.1%未満ではその効果を發揮させることができない。一方、2.5%を超えて過剰に含有させると、パーライト中のフェライト相の延性が低下してしまう。なお、ばねにおいては、「耐へたり特性」が重要で、Siには「耐へたり特性」を高める作用もあるが、2.5%を超えて

(6)

特開2000-178685

含有させてもその効果は飽和してコストが高くなり、脱炭を助長してしまう。したがって、Si含有量は0.1~2.5%とするのがよい。

【0042】Mn: 0.1~1.0%

Mnは、脱酸及び熱間加工性の向上に有効な元素であり、その含有量が0.1%未満ではこの効果を發揮させることができない。一方、1.0%を超えて過剰に含有させると、偏析を生じやすくなり伸縮加工性及び疲労特性が劣化してしまう。したがって、Mnの含有量は0.1~1.0%とするのがよい。

【0043】素材の素材となる鋼は、更に下記の元素を含有してもよい。

【0044】Zr: 0~0.1%

Zrは添加しなくてもよい。添加すれば、既に述べた融化物系介在物の主成分の平均組成を比較的容易に70%以上のSiO₂とすることができるとともに、SiO₂を微細に分散させるので、比較的容易に密度指数f_{n1}を所望の範囲に調整することができる。更に、オーステナイト結晶粒を微細化させ、延性及び塑性を高める作用も有する。しかし、0.1%を超えて含有させても前記の効果が飽和するのでコストが高くなる。したがって、Zrの含有量は0.1%以下とするのがよい。なお、Zr含有量は、融化物系介在物の平均組成においてZrO₂を0.1%含む場合の値以上とするのがよい。

【0045】Cu: 0~0.5%

Cuは添加しなくてもよい。添加すれば、耐食性を高める効果を發揮する。この効果を確実に得るには、Cuは0.1%以上の含有量とすることが望ましい。しかし、Cuを0.5%を超えて含有させると、結晶粒界に偏析し、鋼塊の分塊圧延時や素材の熱間圧延時における割れや疵の発生が顕著になる。したがって、Cuの含有量は0~0.5%とするのがよい。

【0046】Ni: 0~1.5%

Niは添加しなくてもよい。添加すれば、フェライト中に固溶してフェライトの塑性を高める作用を有する。この効果を確実に得るには、Niは0.05%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が1.5%を超えると、焼入れ性が高くなりすぎてマルテンサイトが生成しやすくなり伸縮加工性が劣化する。したがって、Niの含有量は0~1.5%とするのがよい。

【0047】Cr: 0~1.5%

Crは添加しなくてもよい。Crはパーライトのラメラ間隔を小さくして熱間圧延後及びバランディング後の強度を高める作用を有する。更に、伸縮加工時における加工硬化率を高める作用も有しているため、Crの添加によって比較的低い加工率でも高い強度を得ることができる。Crには耐食性を高める作用もある。こうした効果を確実に得るには、Crは0.1%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が1.5%を超えると、パーライト変態に対する焼入れ性が高くなり過剰

(7)

特開2000-178885

でパテンディング処理が困難になる。したがって、Crの含有量は0~1.5%とするのがよい。

【0048】Mo: 0~0.5%

Moは添加しなくてもよい。添加すれば、熱処理で微細な炭化物として析出し強度と疲労特性を高める作用がある。この効果を確実に得るには、Moは0.1%以上の含有量とすることが好ましい。一方、0.5%を超えて含有させても前記の効果は飽和し、コストが嵩むばかりである。したがって、Moの含有量は0~0.5%とするのがよい。

【0049】W: 0~0.5%

Wは添加しなくてもよい。添加すれば、Crと同様に伸張加工時の加工硬化を顕著に高める作用がある。この効果を確実に得るには、Wは0.1%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.5%を超えると鋼の焼入れ性が高くなりすぎて、パテンディング処理が困難になる。したがって、Wの含有量は0~0.5%とするのがよい。

【0050】Co: 0~2.0%

Coは添加しなくてもよい。添加すれば、初析セメンタイトの析出を抑制する効果を有する。この効果を確実に得るには、Coは0.1%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、2.0%を超えて含有させても前記の効果は飽和し、コストが嵩むばかりである。したがって、Coの含有量は0~2.0%とするのがよい。

【0051】B: 0~0.0030%

Bは添加しなくてもよい。添加すれば、パーライト中のセメンタイトの成長を促進させて、組織の延性を高める作用を有する。この効果を確実に得るには、Bは0.0005%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.0030%を超えると、固間や熱間での加工時に割れが生じやすくなる。したがって、Bの含有量は0~0.0030%とするのがよい。

【0052】V: 0~0.5%

Vは添加しなくてもよい。添加すれば、オーステナイト結晶粒を微細化させ、延性及び靱性を高める作用を有する。この効果を確実に得るには、Vは0.05%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、0.5%を超えて含有させても前記の効果は飽和し、コストが嵩むばかりである。したがって、Vの含有量は0~0.5%とするのがよい。

【0053】Nb: 0~0.1%

Nbは添加しなくてもよい。添加すれば、オーステナイト結晶粒を微細化させ、延性及び靱性を高める作用を有する。この効果を確実に得るには、Nbは0.01%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、0.1%を超えて含有させても前記の効果は飽和し、コストが嵩むばかりである。したがって、Nbの含有量は0~0.1%とするのがよい。

【0054】Ti: 0~0.1%

Tiは添加しなくてもよい。添加すれば、オーステナイト結晶粒を微細化させ、延性及び靱性を高める作用を有する。この効果を確実に得るには、Tiは0.005%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、0.1%を超えて含有させても前記の効果は飽和し、コストが嵩むばかりである。したがって、Tiの含有量は0~0.1%とするのがよい。

【0055】不純物元素としてのP、S、Al、N及びO(酸素)はその含有量を下記のとおりにするのがよい。

【0056】P: 0.020%以下

Pは伸張加工時における断線を誘発する。特に、その含有量が0.020%を超えると伸張加工時に断線が多くなる。したがって、不純物としてのPの含有量は0.020%以下とするのがよい。

【0057】S: 0.020%以下

Sは伸張加工時における断線を誘発する。特に、その含有量が0.020%を超えると伸張加工時に断線が多くなる。したがって、不純物としてのSの含有量は0.020%以下とするのがよい。

【0058】Al: 0.005%以下

Alは、酸化物系介在物の生成主体となる元素で、疲労特性及び伸張加工性を劣化させる。特に、その含有量が0.005%を超えると疲労特性の劣化が大きくなる。したがって、不純物としてのAlの含有量は0.005%以下とするのがよく、0.004%以下とすれば一層よい。

【0059】N: 0.005%以下

Nは、窒化物系介在物となる元素であり、又延時効によって延性及び靱性に悪影響を及ぼす。特に、その含有量が0.005%を超えると弊害が顕著になる。したがって、不純物としてのNの含有量は0.005%以下とするのがよく、0.0035%以下とすれば一層よい。

【0060】O(酸素): 0.0025%以下

Oの含有量が0.0025%を超えると酸化物系介在物の数と幅が増大し、疲労特性が著しく劣化する。このため、不純物としてのOの含有量は0.0025%以下とするのがよく、0.0020%以下とすれば一層よい。

【0061】なお、(3)の発明のうちでも、特に、ばね及びスチールコードの用途に好適な鋼材の化学組成は次に示すものである。

【0062】ばねの用途に対しては、鋼の化学組成が重量%で、C: 0.45~0.70%、Si: 0.1~2.5%、Mn: 0.1~1.0%を含み、更に、Zr: 0~0.1%、Cu: 0~0.5%、Ni: 0~1.5%、Cr: 0~1.5%、Mo: 0~0.5%、W: 0~0.5%、Co: 0~1.0%、B: 0~0.0030%、V: 0~0.5%、Nb: 0~0.1%、Ti: 0~0.1%を含有し、残部はFe及び不可避不純物となり、不純物中のPは0.020%以下、Sは

(8)

特開2000-178685

0.020%以下、Alは0.005%以下、Nは0.005%以下、Oは0.0025%以下のものがよい。
【0063】上記した鋼の化学組成の場合、熱処理後のばねに容易に1500MPa以上の引張強度を付与できる。

【0064】スチールコードの用途に対しては、鋼の化学組成が重量%で、C:0.60~1.1%、Si:0.1~1.0%、Mn:0.1~0.7%を含み、更に、Zr:0~0.1%、Cu:0~0.5%、Ni:0~1.5%、Cr:0~1.5%、Mo:0~0.2%、W:0~0.5%、Co:0~2.0%、B:0~0.0080%、V:0~0.5%、Nb:0~0.1%、Ti:0~0.1%を含有し、残部はFe及び不純物からなり、不純物中のPは0.020%以下、Sは0.020%以下、Alは0.005%以下、Nは0.005%以下、Oは0.0025%以下のものがよい。

【0065】上記した鋼の化学組成の場合、0.15~0.35mmまで薄式伸張された鋼線に3200MPa以上の大きな引張強度を付与できる。

【0066】(3)の発明に係る疲労特性及び伸縮加工性に優れた鋼材の素材となる鋼の具体的な製造方法は特に限定する必要はない。しかし、鋼の溶製方法及び鍛造方法によって鋼の化学組成、特に不純物の含有量に変化すると、鍛造方法によって鋼線の製造コストも変化する。このため、(4)の発明においては、鋼材の素材となる鋼の製造方法、なかでも溶製方法及び鍛造方法を下記のとおり規定する。なお、ここでいう「鋼塊」とはJIS用語として規定されているように「鋼片」を含むものである。

(E) 素材鋼の溶製方法及び鍛造方法

鋼材の素材となる鋼は、「転炉による一次精錬、二次精錬、連続鍛造プロセス」で鋼塊にするのがよい。転炉溶製、二次精錬の工程は、鋼中の不純物元素の低減に極めて有効で、更に、連続鍛造することによって製造コストを比較的安く抑えることができるからである。

【0067】なお、既に述べたように「二次精錬」とは、ガスバブリングやアーク式加熱方式を有するとりべ精錬法や真空脱ガス装置を使用する精錬法を指す。

【0068】以下、実施例により本発明を詳しく説明する。

【0069】

【実施例】(実施例1)表1に示す化学組成を有する鋼を試験炉で溶製し、Si、Mnで脱酸した後に二次精錬し、試験炉から連続鍛造の工程までに溶鋼中に投入又は投入するAl量(以下、単に「投入Al量」という)、溶鋼と接触する耐火物及びフラックス中のAl₂O₃量(以下、単に「フラックス中のAl₂O₃量」という)、試験炉から連続鍛造の工程までに溶鋼と接触する耐火物及びフラックス中のZrO₂の量(以下、単に「ZrO₂量」という)、及び二次精錬工程以降で、溶鋼と接触するとりべ中スラグの最終設定CaO/SiO₂比(以下、単に「最終CaO/SiO₂比」という)を変化させて、酸化物系の存在物の組成が種々変わるようにし、次いで、連続鍛造を行った。

【0070】表1における鋼1~8は本発明例に係るものである。鋼5は投入Al量を5g/トン以下に調整するとともに、フラックス中のAl₂O₃量を10%以下、最終CaO/SiO₂比を0.8~2.0の範囲に調整し、その後連続鍛造した。鋼1~4及び鋼7、鋼8は投入Al量を5g/トン以下に調整するとともに、フラックス中のAl₂O₃量を10%以下、ZrO₂量を1~80%とし、更に、最終CaO/SiO₂比を0.8~2.0の範囲に調整し、その後連続鍛造した。

【0071】一方、鋼9~16は比較例に係るもので、投入Al量、フラックス中のAl₂O₃量、ZrO₂量、最終CaO/SiO₂比のいずれか1つ以上を変化させたものである。具体的には、鋼13は最終CaO/SiO₂比を0.6とした。鋼14は投入Al量を7g/トンとし、更に、フラックス中のAl₂O₃量を13%とした。鋼9~12及び鋼15、鋼16はZrO₂量を1~80%としたほか、鋼9~12はそれぞれ最終CaO/SiO₂比を2.5、2.2、0.7、2.3とした。鋼15は投入Al量を7g/トン、フラックス中のAl₂O₃量を13%とし、更に、最終CaO/SiO₂比を0.6とした。鋼16は投入Al量を5g/トン、フラックス中のAl₂O₃量を13%とし、更に、最終CaO/SiO₂比を2.3とした。なお、鋼1と鋼9、鋼2と鋼10、鋼3と鋼11、鋼4と鋼12、鋼5と鋼13、鋼6と鋼14、鋼7と鋼15、鋼8と鋼16はそれぞれほぼ同一の化学組成になるように調整した。

【0072】

【表1】

(9)

特開2000-178685

表 1

区 分	化 学 組 成 (重量%)								溶 剤 : Fe及び不溶物		融 化 物 系 介 在 物			D、2mm0.001		
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	O	その他	溶 剤 組 成 (%)	強度係数	引張強度	疲労強度			
本 発 明	1	0.81	0.30	0.79	0.010	0.008	0.002	0.0042	0.0028	N:0.08	80.3	2.5	17.2	28.1	4215	1250
	2	0.77	0.30	0.15	0.013	0.002	0.008	0.0027	0.0012	Ca:1.8,Mn:0.05	85.3	3.0	11.4	28.6	3775	1180
	3	0.35	0.43	0.48	0.004	0.005	0.001	0.0030	0.0010	V:0.2,Ti:0.10	80.3	1.7	17.5	29.0	3851	1180
	4	0.95	0.15	0.20	0.007	0.007	0.001	0.0024	0.0010	Cr:1.3,Mn:0.05	78.0	0.7	22.7	23.8	4132	1350
	5	0.83	0.17	0.51	0.008	0.005	0.001	0.0030	0.0017	Ca:0.2,S:0.0010,Ti:0.05	82.0	0	12.0	41.2	3128	980
	6	0.87	0.23	0.44	0.011	0.009	0.008	0.0029	0.0015	Mo:0.15,W:0.40	85.3	0	7.8	42.0	4077	1180
	7	0.73	0.31	0.52	0.010	0.008	0.004	0.0031	0.0014	Ca:0.2,V:0.40,W:0.07	87.9	1.3	18.3	30.9	3905	1110
	8	0.83	0.28	0.15	0.005	0.010	0.001	0.0032	0.0010	Zr:0.02,Cu:0.2	81.0	11.0	2.0	38.7	3932	1190
	9	1.03	0.29	0.23	0.012	0.012	0.001	0.0037	0.0018	W:0.07	85.4	0.9	32.7	73.3	4208	850
	10	0.79	0.35	0.48	0.011	0.009	0.005	0.0029	0.0012	Co:1.7,Mn:0.04	85.5	0.7	33.7	57.1	3920	780
比 較 例	11	0.84	0.40	0.47	0.007	0.005	0.001	0.0021	0.0013	V:0.2,Ti:0.10	82.1	12.0	25.1	62.4	3915	770
	12	0.64	0.16	0.32	0.003	0.007	0.001	0.0020	0.0015	Cr:1.8,Mn:0.05	82.7	0.3	67.8	53.3	4178	840
	13	0.94	0.10	0.32	0.010	0.005	0.001	0.0026	0.0010	Ca:0.2,S:0.0010,Ti:0.05	80.5	0	49.5	60.7	3219	540
	14	0.87	0.22	0.45	0.008	0.004	0.002	0.0033	0.0014	Mo:0.12,W:0.50	87.0	0	32.2	55.0	4015	810
	15	0.72	0.32	0.53	0.007	0.008	0.001	0.0032	0.0015	Ca:0.2,V:0.40,W:0.05	87.5	10.5	58.0	58.0	3940	720
	16	0.82	0.32	0.17	0.008	0.005	0.001	0.0029	0.0017	Zr:0.02,Cu:0.2	81.0	14.3	72.7	75.0	3772	750

融 化 物 系 介 在 物 の 組 成 SiO₂、Fe₂O₃以外のもを指す。 *は本発明の条件から外れることを示す。

融化物系介在物のその他はS、O₂、Zr、O₂以外のものを指す。*印は本発明で規定する条件から外れることを示す。

【0073】上記のようにして各鋼を連続鍛造した後、通常の方法で直径5.5mmの棒材に、圧延温度及び冷却速度を調整しつつ熱間圧延した。これらの棒材に一次伸線加工(仕上がり径(直径)2.8mm)、一次バテンティング処理、二次伸線加工(仕上がり径(直径)1.2mm)を施した。この後更に、最終バテンティング処理(950~1050℃のオーステナイト化温度、560~610℃の冷却速度)を施し、引き続きプラスめっき処理を行ってから伸線速度550m/分の条件で直式伸線加工(仕上がり径0.2mm)を行った。

【0074】表1に、直径5.5mmの棒材のL断面を鏡面研磨し、その研磨面を接断面としてBPM装置で分析して幅が2μm以上である50個の融化物系介在物の平均組成を測定した結果、L断面幅全域を含む面積55mm²当たりの融化物系介在物の幅と個数を倍率400倍で光学顕微鏡観察して測定した結果、0.2mm鋼線における引張強度と疲労強度を併せて示す。なお、疲労強度は、温度が20~25℃、変位が50~60%の条件下でハンター式回転曲げ疲労試験機を用いて10⁷サイクル試験した場合の結果である。なお、融化物系介在物の欄における「その他」とは、SiO₂、ZrO₂以外のものを指し、具体的にはAl₂O₃、MgO、MnOなどの融化物系介在物である。

【0075】表1から、本発明例に係る鋼1~8の場合には、比較例に係る鋼9~16に比べて高い疲労強度を有していることが明らかである。

【0076】表2に、上記の各鋼について、直径1.2mmの鋼線を直径0.2mmの鋼線に直式伸線した場合の断線回数(鋼線1トン当たりの断線回数(回/トン))を示す。

【0077】

【表2】

表 2

区 分	断線回数 (回/トン)
本 発 明	1 0.2
	2 0.1
	3 0.1
	4 0.1
	5 0.4
	6 0.5
	7 0.2
	8 0.4
比 較 例	9 7.5
	10 11.6
	11 13.3
	12 9.3
	13 17.4
	14 20.5
	15 12.0
	16 18.8

【0078】表2から、本発明例に係る鋼1~8の場合には、比較例に係る鋼9~16に比べて断線回数が低く、優れた伸線加工性を有していることが明らかである。

【0079】(実施例2)表3に示す本発明に係る鋼17~23を転炉溶製、二次精錬、連続鍛造プロセスで製造した。すなわち、転炉溶製、Si、Mnで脱酸した後二次精錬し、転炉から連続鍛造の工程までに溶鋼中に投入又は混入するAl量を5g/トン以下に調整するとともに、溶鋼と接触する耐火物及びフラックス中のAl₂O₃量を10%以下とし、且つ、転炉から連続鍛造の工程までに溶鋼と接触する耐火物及びフラックス中のZrO₂量を1~80%、二次精錬工程以降で溶鋼と接触するトベ中スラグの最終設定CaO/SiO₂比を0.8~2.0の範囲に調整し、その後連続鍛造した。

(10)

特開2000-178685

[0080]

[表3]

表 3

区分	化学組成 (重量%)									その他
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	O		
本発明	17	0.77	0.29	0.43	0.008	0.008	0.001	0.0023	0.0047	—
	18	0.78	0.28	0.40	0.008	0.008	0.001	0.0023	0.0018	—
	19	0.83	0.28	0.53	0.005	0.004	0.001	0.0035	0.0019	Cu:0.05
例	20	0.85	0.21	0.52	0.009	0.007	0.001	0.0038	0.0017	—
	21	0.87	0.20	0.50	0.008	0.006	0.001	0.0027	0.0019	Cr:0.03, Co:0.04, B:0.0010
	22	0.85	0.19	0.42	0.006	0.006	0.001	0.0030	0.0017	V:0.05, V:0.05, B:0.0010
	23	0.82	0.18	0.32	0.008	0.005	0.001	0.0020	0.0016	Cr:0.03, Co:0.04, B:0.0010

【0081】上記の連続鍛造した各鋼を、通常の方法で直径5.5mmの棒材に、圧延温度及び冷却速度を調整しつつ熱間圧延した。これらの棒材に一次伸線加工（仕上がり径（直径）2.8mm）、一次バテンディング処理、二次伸線加工（仕上がり径（直径）1.2mm）を施した。この後更に、最終バテンディング処理（950～1050℃のオーステナイト化温度、560～610℃の冷却速度）を施し、引き続きプラスめき処理を行ってから伸線速度550m/分の条件下で二次伸線加工（仕上がり径0.2mm）を行った。

【0082】表4に、直径5.5mmの棒材のL断面を鏡面研磨し、その研磨面を被検面としてEPMA装置で

分析して幅が2μm以上である50個の酸化物系介在物の平均組成を測定した結果、L断面全域を含む面積55mm²当たりの酸化物系介在物の幅と個数を倍率400倍で光学顕微鏡観察して測定した結果、0.2mm鋼線における引張強度と疲労強度、及び直径1.2mmの鋼線を直径0.2mmの鋼線に置き換えた場合の断線指数を示す。なお、疲労強度は、温度が20～25℃、速度が50～60%の条件下でハンター式回転曲げ疲労試験機を用いて10⁷サイクル試験した場合の結果である。

[0083]

[表4]

表 4

区 分	酸化物系介在物				0.2mm鋼線		断線指数	
	組成割合(%)	密度指数	引張強度	疲労強度	(MPa)			
	SiO ₂	ZrO ₂	その他	(g/cm ³)	(MPa)	(MPa)	(回/20)	
本 発 明 例	17	74.0	0.0	17.0	48.3	3190	980	0.1
	18	82.1	1.3	18.6	47.1	3195	930	0.1
	19	85.0	1.0	11.1	32.0	3022	1210	0.2
	20	84.9	0.5	14.9	25.7	4065	1220	0.2
	21	79.3	0.5	20.2	20.1	4146	1230	0
	22	81.2	1.1	17.7	22.6	4170	1230	0.1
	23	80.6	2.7	7.5	38.8	4075	1200	0.1

酸化物系介在物のその他はSiO₂、ZrO₂以外のものを指す。

酸化物系介在物のその他はSiO₂、ZrO₂以外のものを示す。

【0084】表4から、転炉による一次精錬、二次精錬、連続鍛造プロセスで製造した本発明例に係る鋼17～23はいずれも高い疲労強度と優れた伸線加工性を有していることが明らかである。

[0085]

【発明の効果】本発明の棒材は疲労特性及び伸線加工性に優れるので、この棒材を素材としてワイヤロープ、井ばね、懸架ばね、PC鋼線、スチールコードなどを高い生産性の下に提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】巨大で不均一組成の介在物が晶出すると、その巨大介在物のうちで軟質な部分は熱間圧延及び冷間圧延や伸線で小型化するが、硬質の部分は大型のまま残存し

てしまうことを示す概念図である。

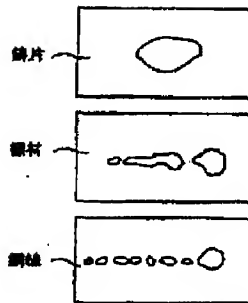
【図2】重量%でのCとMnの含有量が、C(%) + 0.2Mn(%)で0.82～0.88%の鋼を素材鋼とし、直径5.5mmの棒材のL断面における幅2μm以上の酸化物系介在物の主成分の平均組成がすべて重量%で70%以上のSiO₂を含む場合の疲労強度と断線指数f_{n1}との関係を示す図である。

【図3】重量%でのCとMnの含有量が、C(%) + 0.2Mn(%)で0.82～0.88%の鋼を素材鋼とし、直径5.5mmの棒材のL断面における幅2μm以上の酸化物系介在物の主成分の平均組成がすべて重量%で70%以上のSiO₂を含む場合の断線指数と断線指数f_{n1}との関係を示す図である。

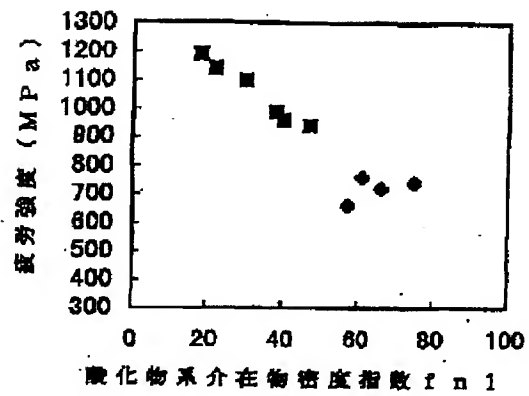
(11)

特開2000-178685

【図1】



【図2】



【図3】

